

MONITORIZAÇÃO PÓS-FOGO E RECUPERAÇÃO DE ÁREAS ARDIDAS: OS PROJETOS REACT MORE E POST-FIRE FAM*

POST-FIRE MONITORING AND RECOVERY OF BURNT AREAS: THE REACT MORE AND POST-FIRE FAM PROJECTS

29

Rui Pinto

Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (Portugal)

ORCID 0000-0003-3565-4111 ruipinto@forestwise.pt

Ana Sá

Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (Portugal)

ORCID 0000-0003-0827-7189 ana.sa@forestwise.pt

Susana Fonseca

Laboratório Colaborativo para a Gestão Integrada da Floresta e do Fogo (Portugal)

ORCID 0009-0006-3909-8377 susana.fonseca@forestwise.pt

RESUMO

Os projetos REACT MORE e POST-FIRE FAM, com participação do CoLAB ForestWISE, focam-se na gestão pós-fogo e recuperação de ecossistemas florestais. O REACT MORE surgiu de uma parceria com a Florestgal, S.A. e a APATA para combater a desertificação numa área de 290 ha, antes ocupada por um eucaliptal subprodutivo e frequentemente atingido por incêndios. A zona foi reconvertida com espécies florestais autóctones, mais resilientes ao clima local. Seis parcelas foram monitorizadas quanto à vegetação, fauna e condições ambientais. Identificaram-se 63 espécies florísticas e 3582 insetos de 13 ordens. As análises de solo mostraram baixa fertilidade, com maior teor de carbono nas áreas com eucalipto. Já o projeto POST-FIRE FAM avalia a severidade ao nível do solo e da vegetação (arbustiva e arbórea) de grandes incêndios em Portugal Continental, usando dados de campo e imagens de satélite. O objetivo é calibrar índices espectrais obtidos por imagens de satélite, e produzir informação cartográfica que apoiem as decisões rápidas na mitigação dos impactos e estratégias de recuperação da vegetação pós-incêndio. Até setembro de 2024 foram analisadas 20 parcelas localizadas nas áreas afetadas por dois incêndios rurais, que afetaram cerca de 1950 ha. A severidade média foi classificada moderada, apesar de sete parcelas apresentarem severidade elevada. Os dados recolhidos ainda são insuficientes para uma análise estatística robusta.

Palavras-chave: Desertificação, fogo, pós-fogo, severidade, monitorização.

ABSTRACT

The REACT MORE and POST-FIRE FAM projects, with the participation of CoLAB ForestWISE, focus on post-fire management and the recovery of forest ecosystems. REACT MORE emerged from a partnership with Florestgal, S.A. and APATA to combat desertification in an area covering 290 ha, previously occupied by an underproductive eucalyptus forest that was frequently affected by wildfires. The area was reconverted with native forest species that are more resilient to the local climate. Six plots were monitored for vegetation, fauna and environmental conditions. 63 species of flora and 3582 insects from 13 orders were identified. Soil analyses showed low fertility with a higher carbon content in the areas where eucalyptus is found. Using field data and satellite images, the POST-FIRE FAM project assesses the severity of major wildfires in mainland Portugal. It aims to calibrate spectral indices obtained from satellite imagery and to produce cartographic information to support rapid decision-making for impact mitigation and post-fire vegetation recovery strategies. As of September 2024, 20 plots in areas affected by two wildfires, covering around 1950 ha, had been analyzed. While the average severity was considered moderate, seven plots demonstrated high values. At this stage, there is insufficient data for robust statistical analyses.

Keywords: Desertification, wildfire, post-fire, severity, monitoring.

* O texto deste artigo corresponde a uma comunicação apresentada ao III Seminário da Rede Incêndios-Solo, tendo sido submetido em 22-04-2025, sujeito a revisão por pares a 24-04-2025 e aceite para publicação em 10-12-2025. Este artigo é parte integrante da Revista *Territorium*, n.º 33 (I), 2026, © Riscos, ISSN: 0872-8941.

Introdução

Cada vez mais os incêndios rurais adquirem características extremas, são mais frequentes e acompanhados por uma elevada destruição e áreas ardidas de maior dimensão, podendo comprometer a sustentabilidade dos ecossistemas (Stoof *et al.*, 2012). Portugal tem no seu historial de incêndios rurais um conjunto de anos que servem de referência em termos de área ardida, destruição de infraestruturas e bens e vítimas mortais. O exemplo mais recente reporta a 2024 onde no espaço de cinco dias (entre 15 e 19 de setembro) arderam mais de 100 000 ha e registou-se a perda de 10 vidas humanas (SGIF, ICNF).

É frequente encontrar-se associado aos incêndios rurais como uma das mais nefastas consequências dos mesmos, o fenómeno da desertificação, na medida em que os impactos nos ecossistemas, nomeadamente a destruição da vegetação, provocam a perda da produtividade líquida e a alteração do funcionamento dos ciclos biogeoquímicos e de armazenamento de nutrientes dos ecossistemas (Chen, 2006). A desertificação, entendida como a «degradação da terra nas zonas áridas, semiáridas e sub-húmidas secas em resultado da influência de vários fatores, incluindo as variações climáticas e as atividades humanas», assim definida em 1994, na Convenção das Nações Unidas de Combate à Desertificação, é um problema ambiental que afeta cerca de um sexto da população mundial e um quarto da superfície terrestre (Roxo, 2023). A perda de nutrientes, fomentada pelo aumento de escoamento superficial em áreas queimadas, torna o solo mais vulnerável à degradação, nomeadamente através do efeito erosivo, potenciando a aridez e a desertificação, sobretudo em locais afetados por incêndios recorrentes (Santín e Doerr, 2016). Em Portugal, o fenómeno tem vindo a aumentar, considerando-se que 58% do território do Continente é suscetível à desertificação, sobretudo nas áreas do sul e do interior centro e norte (Tribunal de Contas, 2019). As previsões, designadamente quanto a alterações climáticas e despovoamento, tornam expectável o acentuar dos riscos de desertificação no nosso país. O reconhecimento deste problema pela comunidade internacional, como um dos mais graves com evidentes implicações sociais, económicas e ambientais, teve como resultado o debate público sobre a matéria e o estabelecimento de recomendações e compromissos para o cumprimento de metas que apoiem a sua mitigação. O Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação (PANCD) é o instrumento nacional de operacionalização da Convenção das Nações Unidas para o Combate à Desertificação (CNUCD) e visa enfrentar os riscos de desertificação em Portugal. Em estreita articulação com a Estratégia Nacional para as Florestas (EFN), reforça a importância social, económica e ambiental da floresta

nacional e salienta as ações de (re)florestação como intervenções importantes para a regulação dos recursos hídricos, a retenção e armazenamento de carbono atmosférico e os serviços de ecossistema em geral, nomeadamente através da promoção do aumento de área e densidade da floresta autóctone.

A perspetiva deixada por diversos especialistas de que fenómenos climáticos extremos venham a ser cada vez mais frequentes, assim como, a atual degradação do espaço rural, onde as alterações no uso e ocupação do solo e o fogo podem ser consideradas os dois maiores fatores de mudança nas paisagens da bacia do Mediterrâneo (Naveh, 1994), determina uma rápida diminuição do potencial produtivo, regulador e informativo dos solos, pelo que a gestão e restauração destes espaços requer estratégias espaciais que permitam a diversificação de atividades com maior potencial ao nível económico, com maior valor natural, incorporando funções e estruturas dos ecossistemas naturais (Guiomar *et al.*, 2007). Esta inevitabilidade realça a necessidade de cada vez mais, se olhar para as questões da prevenção e da intervenção na fase do pós-fogo, como estratégia para mitigar fenómenos erosivos, implementar medidas de estabilização de emergência e de recuperação de áreas ardidas, direcionando igual atenção para matérias como a perda de biodiversidade, pragas e doenças florestais. Assim, a avaliação da severidade dos incêndios rurais, seja ao nível do solo, vegetação no subcoberto e vegetação arbórea, permite priorizar nas zonas de maior severidade do fogo, áreas que tenham ficado mais suscetíveis após estes eventos e implementar medidas de curto, médio ou longo prazo, que visem a mitigação de fenómenos que podem em última análise conduzir à desertificação e desvalorização do território.

Os dois projetos apresentados no III Seminário da Rede Incêndios-Solo em Guimarães em novembro de 2024 pelo CoLAB ForestWISE são de natureza diferente. O projeto REACT MORE - Ação de Reflorestação e Combate à Desertificação de Moreirolas é o resultado de uma parceria entre a Florestgal, S.A. - Empresa Pública de Gestão e Desenvolvimento Florestal, o CoLAB ForestWISE® - Laboratório Colaborativo para a gestão Integrada da Floresta e do Fogo, e a APATA - Associação de Produtores Agrícolas Tradicionais e Ambientais, e visou a reconversão de um eucaliptal em subprodução instalado numa área com recorrência média de incêndios rurais superior a oito (8) anos, tendo como propósito último responder à problemática da desertificação no território nacional. A reflorestação com espécies autóctones e mais bem adaptadas às condições edafoclimáticas da região, procurou a reabilitação dessa área e um aumento da resiliência do território à desertificação e aos incêndios rurais, dando cumprimento às orientações nacionais e internacionais em matéria de alterações climáticas, combate à desertificação e coesão territorial.

O Projeto POST-FIRE FAM - POST-FIRE Forest Assessment and Monitoring (Avaliação da Severidade do Fogo e Monitorização da Recuperação no Pós-Fogo) é um projeto interno do CoLAB ForestWISE e tem como objetivo a avaliação da severidade de grandes incêndios no território de Portugal Continental, colocando em prática um protocolo que visa recolher informação no terreno relacionada com os efeitos produzidos pelos incêndios ao nível do solo e da vegetação, complementada com a classificação da severidade em imagens do satélite Sentinel-2 (LEVEL-2A), recorrendo a índices espectrais publicados na literatura científica.

O objetivo geral deste artigo é apresentar os dois projetos, o trabalho realizado e alguns resultados provisórios dum projeto em curso para mitigar os efeitos de incêndios rurais de grandes dimensões, designadamente através de uma avaliação da severidade do fogo e na reabilitação de áreas ardidas. Neste contexto, faz-se um enquadramento das problemáticas que fizeram nascer cada um dos projetos, as abordagens metodológicas utilizadas em cada um, alguns resultados que foram possíveis obter com o tempo decorrido e um conjunto de considerações finais que poderão apoiar a potencial necessidade e fundamento para a continuidade e replicação de iniciativas semelhantes noutros territórios do país.

O projeto REACT MORE

O projeto REACT MORE que, entretanto, terminou em 31 de dezembro de 2023, incidiu numa área com cerca 290 ha, ocupada sobretudo por eucalipto, localizada perto da Serra da Marofa, no concelho de Figueira de Castelo Rodrigo, distrito da Guarda. Resultado das condições edafoclimáticas e da recorrência de incêndios rurais nesta zona, este eucaliptal encontrava-se em subprodução, sendo o objetivo proceder à sua reconversão com espécies autóctones e mais resilientes às condições da região (sobreiro, azinheira e medronheiro). Para proceder à nova plantação com espécies mais adaptadas à região procedeu-se ao arranque das toijas existentes, através de destroçamento mecânico com enxó acoplado a retroescavadora. Complementarmente, foi objeto deste projeto monitorizar os efeitos das operações florestais realizadas, nomeadamente ao nível da biodiversidade, da fertilidade dos solos e da variação da humidade e da temperatura nas áreas com e sem intervenção.

A área situa-se a leste do vale do rio Coa até Nave de Haver, incluindo a Serra da Marofa (fot. 1), e constitui o Superdistrito Ribacoense. É um território, com características planálticas, granítico, mesomediterrânico seco onde predominam os aziniais do *Genisto hystricis-Quercetum rotundifoliae* e os gietais do *Cytiso multiflora-Retametum sphaerocarpaceae*. Em áreas depressionárias, compensadas hidricamente, surgem os bosques do *Quercus pyrenaica-Fraxinetum angustifoliae*.

Este Superdistrito tem grandes afinidades salmantinas, a sua colocação no Sector Lusitano-Duriense deve-se à impossibilidade de encontrar uma continuidade com o Sector Salmantino por terras espanholas (Costa *et al*, 1998). Em termos de caracterização biogeográfica e fitossociológica, a área de intervenção insere-se no sector Lusitano Duriense, província Carpetano Ibérico-Leonesa, da região Mediterrânica, Província Carpetano-Ibérico-Leonesa, Subsetor Lusitano-Duriense e Superdistrito Ribacoense.

Na sua maioria, a área de intervenção localiza-se entre os 320 e os 623 metros de altitude, apresenta declives muito acentuados (>20%) e exposição do terreno com uma distribuição tendencialmente homogénea entre os principais rumos, havendo uma pequena dominância dos terrenos expostos a sul. O tipo de solos predominantes na área de intervenção, são os luvisolos órticos. Esta classificação compreende solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural com argila de atividade alta e saturação de bases elevada, logo abaixo do horizonte A ou horizonte E. Segundo a Carta Geológica de Portugal (Folha 15-D – Figueira de Castelo Rodrigo; Serviço Geológico de Portugal, LNEG, 1990) e sínteses regionais do Complexo Xisto-Grauváquico (Silva, 2005), a área exhibe formações sedimentares e metamórficas do intervalo pré-câmbrio-câmbrio, sobretudo xistos e grauvaques pertencentes ao Complexo Xisto-Grauváquico (Grupo do Douro/Supergrupo Dúrico-Beirão).

Considerando os dados da Estação Meteorológica do IPMA de Figueira de Castelo Rodrigo (n.º 671), cuja ficha está publicamente acessível, e tendo em conta as normais climatológicas oficiais mais recentes adotadas internacionalmente (1991-2020), observa-se uma temperatura média anual de 12,7 °C, uma temperatura média em agosto (média mensal) de aproximadamente 21,6 °C (média das temperaturas médias mensais) e uma precipitação anual média de 528,9 mm. É de assinalar que os meses em que ocorrem os dias com máxima pluviosidade, geralmente associadas a trovoadas, são durante o período de Verão, nos meses de julho e setembro (IPMA, 2023).

A sazonalidade na disponibilidade de água no solo e a amplitude de variação da pluviosidade ao longo do ano, uma estação quente e seca alternada com outra estação fria, são características associadas ao clima mediterrânico (classificação de Köppen-Geiger Csa, embora nas zonas mais altas do concelho, nomeadamente na Serra da Marofa, possa ocorrer uma transição local para Csb) (IPMA, 2023). Este tipo de clima condiciona diretamente a capacidade de adaptação ecológica das plantas e a sua própria fisionomia.

Relativamente ao enquadramento ecológico nas grandes regiões de arborização (Oliveira e Correia, 1999) a área de intervenção insere-se na Zona de Arborização

Submontana Subatlantica (IV). As espécies indicadas para estes espaços são Carvalho cerquinho (*Quercus faginea*), Carvalho alvarinho (*Quercus robur*), Carvalho negral (*Quercus pyrenaica*), Carvalho americano (*Quercus rubra*), Castanheiro (*Castanea sativa*), Cerejeira brava (*Prunus avium*), Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*), Pinheiro insigne (*Pinus radiata*), Pinheiro negro (*Pinus nigra*) e Cedro do Atlas (*Cedrus atlantica*). Na área de intervenção observa-se, contudo, a presença com alguma abundância da regeneração natural de sobreiro (*Quercus suber*), de azinheira (*Quercus rotundifolia*), de Carvalho negral (*Quercus pyrenaica*) e também de Pinheiro bravo (*Pinus pinaster*) que vai aparecendo no território com alguma expressividade.

Os modelos fitossociológicos permitem avaliar qual a sucessão provável dos diversos tipos de vegetação numa dada região. Por este motivo, é possível avaliar, para cada estágio da sucessão o seu grau de afastamento relativamente à vegetação potencial. De acordo com os dados obtidos para o local em estudo (Aguiar *et al.*, 2013), a vegetação climácica seria constituída pelos azinhais da associação *Genisto hystrix-Quercetum rotundifoliae*. Para além de *Genista hystrix* e *Quercus rotundifolia*, que dão o nome à associação, são frequentes: Zimbro (*Juniperus oxycedrus*), Medronheiro (*Arbutus unedo*), Esteva (*Cistus ladanifer*), Trovisco (*Dapne gnidium*), Alfazema (*Lavandula pedunculata*), *Cistus psilosepalus*, Pilriteiro (*Crataegus monogyna*), Bela-luz (*Thymus mastichina*) e Alecrim (*Rosmarinus officinalis*), entre outras. No que respeita aos territórios ocupados pelos matos, é possível identificar as formações arbustivas compostas por estevais da associação *Cisto ladaniferi-*

Genistetum hystrix e os giestais de giesta-branca (*Cytissus multiflorus*) da associação *Genisto hystrix - Cytisetum multiflori*. Nos giestais, são frequentes *Genista hystrix*, Perpétua (*Helichrisum stoechas*), Bela-luz (*Thymus mastichina*) e *Tuberaria gutatta*.

A região, do ponto de vista zoológico, apresenta valores muito relevantes de aves de presa raras e ameaçadas e, sobretudo, várias espécies de aves de rapina com estatuto de ameaça, assim como, uma densidade populacional humana relativamente baixa, o que permite a presença de espécies sensíveis à perturbação direta resultante da pressão antrópica. Salienta-se a presença de comunidades nidificantes de Britango (*Neophron percnopterus*), que corresponde a um dos mais significativos núcleos do país e também para o Chasco-preto (*Oenanthe leucura*), que é frequente nas zonas mais áridas desta região. A área assume igualmente relevância para a Águia-real (*Aquila chrysaetos*), Grifo (*Gyps fulvus*) e a Águia de Bonelli (*Hieraetus fasciatus*). A grande extensão de matos proporciona a ocorrência e uma certa abundância de diversos passeriformes como a Toutinegra-tomilheira (*Sylvia canspicillata*), a Toutinegra-de-bigodes (*Sylvia cantillans*) ou a Toutinegra-dos-valados (*Sylvia melanocephala*). Em termos de preservação de habitats, importa referenciar a presença de espécies com estatuto de ameaça ligadas a territórios bem conservados, como sejam, a toupeira-de-água (*Galemys pyrenaicus*), o Musaranho-de-água (*Neomys anomalus*) ou o lobo (*Canis lupus signatus*). Em termos de habitats classificados, não foram identificados na área de intervenção habitats prioritários ou classificados no âmbito da Rede Natura 2000.



Fot. 1 - Enquadramento paisagístico da área intervencionada (Fonte: Florestgal).

Photo 1 - Landscape of the intervention area (Source: Florestgal).

Na área de intervenção existem registos de incêndios florestais recorrentes entre 1975 e 1999 e, nos últimos 20 anos, ardeu em 2010, 2014 e 2017. O incêndio ocorrido em 2017 afetou cerca de 200 hectares e atingiu uma grande área de produção de eucalipto (que já se encontrava na quarta rotação), o que resultou numa perda de produtividade, uma desvalorização económica muito significativa da madeira e a afetação da densidade do povoamento, de eucalipto, sendo evidente a existência de muitas toijas e árvores que não rebentaram após o fogo.

O projeto POST-FIRE FAM

Relativamente ao projeto POST-FIRE FAM, tal como já se referiu, o objetivo consiste na avaliação da severidade resultante de grandes incêndios no território de Portugal Continental, colocando em prática um protocolo de campo para a recolha de informação relacionada com os efeitos produzidos pelos incêndios ao nível do solo, subcoberto e vegetação arbórea. Simultaneamente é realizada a classificação multitemporal de imagens de satélite Sentinel-2 (LEVEL-2A), usando um conjunto de índices espectrais relacionados com a severidade e publicados em literatura científica (por exemplo, Parks *et al.*, 2014; Fernández-García, *et al.*, 2017).

No ano de início do projeto (2024), foram visitadas duas áreas queimadas resultantes de dois incêndios rurais que no total tiveram 1990 ha de área ardida (fig. 1). A primeira área com uma dimensão de 56 ha e com uma ocupação do solo maioritariamente com eucalipto, situa-se na localidade de Espiunca, concelho de Arouca (extremo nordeste do distrito de Aveiro). Trata-se de uma área privada, aparentemente com reduzida gestão

florestal e inserida num território que se caracteriza, em termos de ocupação de solo, por possuir cerca de 65,5% da sua área ocupada por espaços florestais, maioritariamente com eucaliptos e onde a União de Freguesias de Canelas e Espiunca é a que apresenta maior área ocupada com floresta entre as 16 freguesias do concelho (3204 ha) (CMDFCI, 2015). A área queimada localiza-se junto ao rio Paiva, entre as quotas de 90 e 350 metros de altitude e com um declive que varia entre os 15 e 30°. A proximidade ao oceano Atlântico e a respetiva orografia conferem a este território um clima temperado de influência marítima e temperaturas médias anuais na ordem de 14°C. Antes de 2024, a última vez que se registou um incêndio nesta zona do concelho foi em 1987. A meteorologia associada à ocorrência foi de temperatura de cerca de 17°C, velocidade do vento 6 km/h, direção do vento de Oeste e humidade relativa de cerca de 77%. A segunda área queimada repartiu-se entre as localidades de Angueira e São Martinho de Angueira, nos municípios de Miranda do Douro e Vimioso (maioritariamente no primeiro concelho), com uma ocupação de solo diversificada. De acordo com as classificações de ocupação e uso do solo (COS2018 e COSc2024), a área queimada situa-se maioritariamente em matos, e povoamentos florestais de pinheiro-bravo e folhosas (carvalhos e castanheiros). As áreas visitadas localizam-se em terrenos moderadamente declivosos (2 a 10°), altitudes entre os 700 e os 800 metros, com encostas maioritariamente expostas a Sul e Este (cerca de 62% da área). De acordo com o histórico de incêndios, a grande maioria da área afetada pelo incêndio não ardia há mais de 20 anos, representando à data da visita o maior incêndio rural ocorrido em Portugal Continental nesse ano.

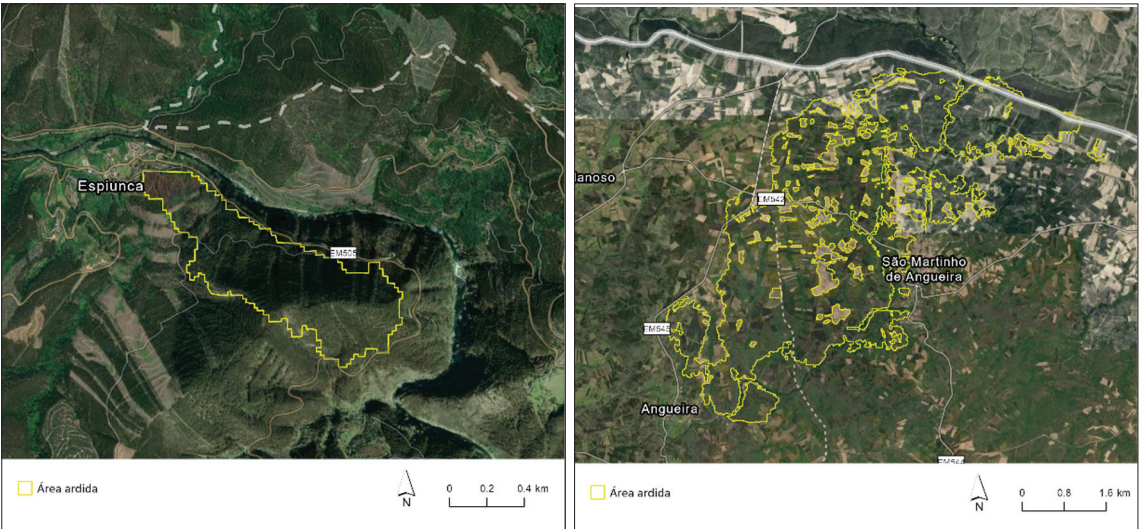


Fig. 1 - Áreas ardidas que foram alvo de trabalho de campo para avaliação da severidade dos incêndios: a) Espiunca; e b) Angueira (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 1 - Burned areas targeted in field work to assess the severity of the fires: a) Espiunca; and b) Angueira (Source: CoLAB ForestWISE®).

Metodologia

REACT MORE

Tratando-se de dois projetos distintos e com propósitos próprios, as abordagens metodológicas para a sua concretização foram igualmente diferentes. No caso do projeto REACT MORE, com o objetivo de monitorizar parâmetros como temperatura e humidade do ar, propriedades do solo e as alterações induzidas pela reconversão do povoamento, foi instalado um ensaio de campo, permitindo conhecer os processos implicados na alteração do coberto vegetal e diversidade de fauna entomológica, que pode auxiliar na tomada de decisão de projetos futuros.

Este local foi percorrido por diversos incêndios desde a sua plantação, resultando atualmente, uma situação de eucaliptal gerido, na quarta rotação, com varas com cerca de seis (6) anos em toijas dispersas e irregulares, com sob coberto de vegetação arbustiva e herbácea. Em dois dos locais selecionados com presença de eucaliptos, designaram-se as parcelas por EG e um dos locais não tinha qualquer eucalipto e foi designado “Matorral”. No local com eucalipto, designado por EG1 foi plantado medronheiro (7,12 ha) e em EG2 foi plantada uma consociação de sobreiro e medronheiro (33,88 ha). Na parcela designada por “Matorral” foi feito o adensamento por sementeira com sobreiro e azinheira.

Para proceder à nova plantação com espécies mais adaptadas à região procedeu-se ao arranque das toijas existentes por via mecânica. Para ter condições para o estudo do ensaio instalado e obtenção de comparações em diferentes situações de coberto vegetal, optou-se por deixar duas parcelas com eucalipto (não se arrancaram as toijas e não se fez plantação em cerca de 1000 m²) para ser monitorizado como testemunha e comparado com as novas plantações pelo máximo período possível.

Foram instaladas seis parcelas (três (3) parcelas testemunha + três (3) parcelas intervencionadas, com 5000 m² cada uma), nas quais se realizaram inventários florísticos (método dos quadrats) e faunísticos/entomológicos (*sweeping* e *pitfall*), colhidas amostras de solo para análise/caracterização entre os 0-20 cm de profundidade e, simultaneamente, recolhidos dados de humidade do ar e de temperatura através de sensores. Os critérios subjacentes à seleção dos locais das parcelas foram a respetiva acessibilidade e as espécies a plantar ou semear, tendo os pontos de amostragem obedecido a uma seleção aleatória. O principal propósito consistiu em monitorizar alguns indicadores, e perceber do impacto das operações realizadas, na biodiversidade local, contabilizando-se para isso os insetos e fazendo o inventário florístico do local. A definição destas parcelas de monitorização foi efetuada de acordo com as seguintes ocupações de solo futuras:

- Povoamento puro de medronheiro (1+1)
- Povoamento misto de sobreiro x medronheiro (1+1)
- Povoamento misto de sobreiro x azinheira (1+1)

Os inventários florístico e faunístico ocorreram em dois períodos. O primeiro no início da primavera e em outubro e o segundo, para além dos dois momentos referidos, igualmente em junho. As amostras de solo foram recolhidas em cada ponto de amostragem, no momento de instalação das parcelas (março). Dada a falta de disponibilidade de sensores e o momento em que os mesmos foram adquiridos (agosto), foram instalados foram colocados 24 sensores a cinco centímetros do solo (quatro (4) sensores por parcela). Nas parcelas testemunha dos três locais foram ainda colocados dois sensores adicionais a diferentes alturas (5 cm e 100 cm).

Cada parcela com a dimensão de 5000 m² foi dividida em quadriculas de 15m x 15m. Os pontos de interseção resultantes nessas redes foram considerados como potenciais pontos de amostragem. Tendo em conta a dimensão das parcelas e a disponibilidade de tempo e de recursos, foram aleatoriamente selecionados sete (7) pontos de amostragem em cada parcela (fig. 2). As parcelas, tal como os pontos de amostragem, foram georreferenciados e a sua localização, identificada no terreno, com estacas de madeira, para futuro acesso aos mesmos.

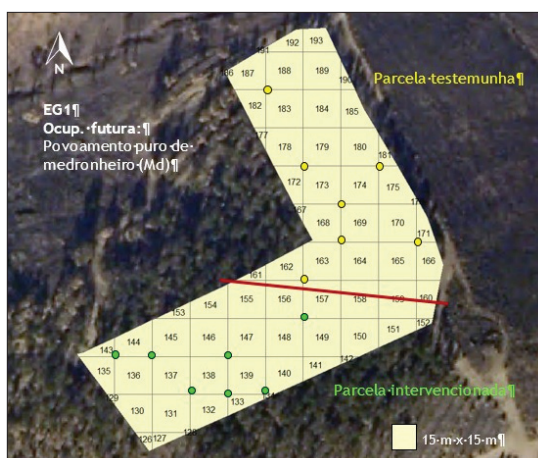


Fig. 2 - Pontos de amostragem numa das parcelas do ensaio-piloto (Fonte: CoLAB ForestWISE® e ESRI).

Fig. 2 - Sampling points in one of the pilot test plots (Source: CoLAB ForestWISE® and ESRI).

Os 42 pontos instalados, permitiram comparações de diferentes situações de coberto vegetal. Em cada parcela foram identificados, com estacas, sete (7) pontos fixos e georreferenciados, viabilizando a instalação e monitorização das parcelas de estudo em função das intervenções que envolveram a plantação de sobreiro, azinheira e medronheiro, nas tipologias de plantação e sementeira (fot. 2).

O inventário florístico, realizado em duas épocas de amostragem (uma em março e outra e finais do mês de outubro), envolveu a identificação de espécies de plantas dentro de uma área de 25m² ao redor dos pontos de amostragem pré-definidos. Esta área de amostragem foi escolhida para abranger as diversas espécies da comunidade vegetal amostrada. A abordagem metodológica adotada baseou-se na sistematização da cobertura e relevância das espécies, com recurso a critérios estabelecidos na literatura (ex.: Braun-Blanquet), facilitando a identificação dos padrões de distribuição e a comparação entre diferentes áreas amostrais, contribuindo para a compreensão das dinâmicas ecológicas em contextos mediterrânicos. A partir da lista florística compilada, foi possível identificar o tipo de vegetação presente, sua riqueza florística e diversidade, facilitando a compreensão dos impactos que as mudanças propostas poderão ter na biodiversidade no futuro. A identificação taxonómica contou com o apoio das bases de dados da Flora Ibérica e da Flora-On, que se revelaram fundamentais para a validação dos nomes científicos e para a correta classificação das espécies. Adicionalmente, foram consultados estudos científicos nacionais que aplicaram a metodologia referida, como os trabalhos de Pereira e Santos (2013) e Costa e Silva (2011).

A instalação das 42 pitfall (sete (7) por parcela) ocorreu em três períodos: primavera, verão e outono, tendo a amostragem sido realizada a partir de recolhas periódicas a cada dois meses. As armadilhas permaneceram uma semana no local e foram recolhidas para posterior separação dos insetos por ordem e contagem. As amostras recolhidas pelo método sweeping, foram recolhidas na mesma data em que foram recolhidas as outras amostras de insetos.

POST-FIRE FAM

O projeto POST-FIRE FAM tem como objetivo principal a classificação de forma expedita e recorrendo a imagens de satélite (Sentinel-2) da severidade de grandes incêndios, de forma a apoiar de forma célere a decisão estratégica relativamente à implementação das medidas necessárias de restauro dos ecossistemas florestais. O projeto divide-se nas seguintes fases: 1) seleção do incêndio alvo de avaliação da severidade no terreno, em função da sua dimensão, localização, e classes de ocupação florestal; 2) compilação da base de dados geográfica e das imagens de satélite antes e após o incêndio, com planeamento do trabalho de campo; 3) avaliação no campo da severidade do incêndio nos diferentes estratos da vegetação e do solo; e 4) classificação da severidade do incêndio com base nas imagens de satélite e atualização da base de dados de campo com inclusão de todas as parcelas avaliadas no campo (fig. 3).

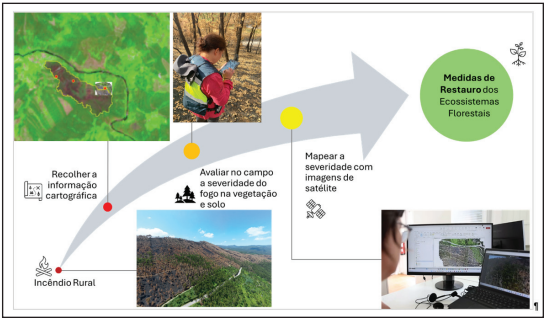


Fig. 3 - Organigrama das quatro principais tarefas do projeto POST-FIRE FAM (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 3 - Organizational chart of the four main tasks of the POST-FIRE FAM project (Source: CoLAB ForestWISE®).



Fot. 2 - Exemplos dos pontos de amostragem instalados nas parcelas testemunha e nas intervencionadas sensor de temperatura e humidade colocado na parcela de ensaio (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Photo 2 - Examples of the sampling points installed in the control plots and in the plots subject to intervention with the temperature and humidity sensor placed in the test plot (Source: CoLAB ForestWISE®).

Os dados de avaliação da severidade recolhidos no campo são muito importantes para a construção de uma base de dados de modelação visando a classificação da severidade dos incêndios com base nas imagens Sentinel-2. É bastante ambicioso pensar que com imagens de satélite se consegue classificar a severidade de um incêndio nos diferentes estratos avaliados no campo, especificamente ao nível das copas, subcoberto e solo. A energia que é refletida pela superfície resulta da combinação das refletâncias de cada um dos seus componentes, avaliação que é complexa e depende, entre outros fatores, da intensidade e velocidade de propagação do fogo, do tipo de vegetação e da sua vulnerabilidade e do grau de coberto arbóreo. Deste modo, a construção da base de dados de campo, conjuntamente com índices espectrais específicos derivados das imagens de satélite, permitirá perceber os principais fatores que determinam e condicionam a classificação da severidade, bem como os ajustes necessários a aplicar aos limiares dos índices para obter mapas discretos de classes de severidade localmente calibrados.

A metodologia de classificação da severidade dos incêndios é multi-temporal, ou seja, são necessárias duas imagens de satélite Sentinel-2, uma correspondente a uma data pré-fogo e outra a uma data pós-fogo, ambas isentas de nuvens e com boa qualidade radiométrica. As composições coloridas RGB - 12, 8A, 4, com a resolução espacial de 20 m, permitem de uma forma relativamente clara perceber a cicatriz da área queimada, a partir da qual é frequentemente possível delimitar o perímetro caso a forma não seja demasiado complexa e haja contraste espectral. As imagens de ambas as datas são usadas para extrair os índices espectrais: NBR (Normalized Burned Ratio), dNBR (diferença entre o NBR pré-fogo e o NBR pós-fogo), e RBR (Relative Burn Ratio), de acordo com o trabalho de Parks *et al.* (2014), onde a banda 4 foi substituída pela banda 8a (IVP) e a banda 7 pela banda 12 (IVM). Os índices referidos são obtidos seguindo as seguintes equações:

$$NBR = (b8a - b12) / (b8a + b12) \quad (\text{Eq. 1})$$

$$dNBR = ((NBR_{\text{pré-fogo}} - NBR_{\text{pós-fogo}}) \times 1000) - dNBR_{\text{offset}} \quad (\text{Eq. 2})$$

$$RBR = dNBR / (NBR_{\text{pré-fogo}} + 1.001) \quad (\text{Eq. 3})$$

onde, $dNBR_{\text{offset}}$ corresponde a um fator de correção calculado como o valor médio do dNBR em superfícies relativamente homogêneas e invariantes fora do perímetro do queimado (por exemplo zonas de solo nu). Aplica-se este fator de correção às imagens para salvaguardar diferenças radiométricas que possam existir entre as imagens pré e pós-fogo, por exemplo, devido à fenologia ou ocorrência de precipitação entre as datas de passagem do satélite.

Posteriormente, são definidas parcelas de avaliação da severidade no campo, com base na acessibilidade, procurando garantir a representatividade das diferentes classes de ocupação afetadas pelos incêndios, bem como diferentes níveis de severidade obtidos pela classificação prévia dos índices espectrais referidos. As parcelas visitadas no campo são circulares (15 m de raio) onde se recolhe a informação de forma visual das duas principais ocupações, as percentagens de coberto arbóreo e de matos, a altura média da base das copas, a altura média do povoamento, e a altura média da vegetação no subcoberto. Identificaram-se ainda a existência de pragas assim como espécies lenhosas invasoras. Selecionaram-se como classes de ocupação alvo de avaliação da severidade do incêndio povoamentos florestais de resinosas e povoamentos florestais de folhosas, sendo o número de parcelas a amostrar função da representatividade destas na área queimada.

A metodologia de avaliação em campo da severidade do incêndio na vegetação e no solo baseia-se noutras abordagens já testadas, designadamente pelas equipas BAER (Burned Area Emergency Response) dos Serviços Florestais norte americanos (Parsons *et al.*, 2010), tendo-se procedido a algumas adaptações e adotado uma série fotográfica para a classificação da severidade no solo, disponível no guia em https://www.fs.usda.gov/rm/pubs/rmrs_gtr243.pdf. Em termos gerais, a severidade é avaliada através de um índice designado por CBI (Composit Burn Index), que é atribuído a cada um dos quatro estratos de vegetação e para o substrato (ver tabela 2 do trabalho de Fernández-García *et al.* (2018)). A escala de variação do CBI varia entre 0 (nula) e 3 (elevada). O valor de CBI é registado para cada estrato, e posteriormente calculam-se os valores médios para cada estrato e para a parcela na sua totalidade. Serão estes valores médios (agregados e não agregados) que serão usados na análise das relações com a severidade dada pelos índices espectrais.

Para implementar a metodologia adaptada de avaliação da severidade ao nível da vegetação e do solo, desenvolveu-se um formulário com uma base de dados fotográfica de apoio, que de uma forma expedita recolhe a informação observada no campo. Os dados georreferenciados recolhidos no campo são então descarregados para uma base geográfica de dados que integra todas as parcelas de todos os incêndios selecionados para avaliação da severidade. Nesta mesma base de dados são adicionados os valores dos índices espectrais extraídos para cada parcela, que poderão posteriormente suportar a estimativa da severidade média, e ajustar diferentes modelos matemáticos em função de variáveis descritoras de cada incêndio/local, com o objetivo melhorar as estimativas de severidade obtidas por processamento e classificação de imagens de satélite.

Resultados

Relativamente ao projeto REACT MORE, apresentam-se resultados a diferentes níveis: fertilidade do solo, humidade, temperatura e inventários florístico e faunístico. Os resultados da análise de amostras de solo nas parcelas (QUADRO I), revelaram a existência de solos ácidos ($4,0 < \text{pH (KCl)} < 4,5$), com valores para os catiões de troca baixos para todos os locais e percentagem de matéria orgânica média para EG1 e baixa para os outros dois locais. Em todos os locais o teor de fósforo foi muito baixo, o potássio variou entre médio e baixo (Método de Egner-Riehm), as Bases de troca, cálcio, magnésio, potássio e sódio (encontradas por percloração do solo), variam entre o médio e o muito baixo, com a capacidade de troca catiónica a variar entre o baixo e muito baixo, pelo que se podem classificar como solos pobres em nutrientes e em matéria orgânica (Veloso *et al.*, 2022).

QUADRO I - Quantificação de N, P, K, MO e dos catiões de troca no solo por local.

TABLE I - Quantification of N, P, K, OM and exchange cations in the soil by site.

	EG 1	EG 2	Matorral
pH (KCl)	4.5	4.0	4.3
N (g Nkg ⁻¹)	1,22	0,73	0,62
razão C/N	9,8	9,1	8,7
MO (%)	2,06	1,15	0,93
Fósforo			
(mg P2O5 kg ⁻¹)	24	6	3
Potássio			
(mg K2O kg ⁻¹)	85	78	47
Bases de troca			
(cmolc kg ⁻¹)			
Ca ²⁺	2,96	1,67	2,41
Mg ²⁺	0,48	0,47	0,51
K ⁺	0,17	0,16	0,1
Na ⁺	0,05	0,01	0,01

Fonte: Resultados de análises laboratoriais do Laboratório de Solos e Plantas da UTAD / Source: Laboratory analyses results at the UTAD Plants and Soil Laboratory.

Os dados dos sensores instalados, permitiram a comparação de dados meteorológicos em cada local do ensaio, podendo avaliar diferenças encontradas que se possam atribuir à influência da vegetação e comparar com os valores gerais obtidos na estação meteorológica do IPMA da aldeia de Vilar Torpim, a 635 m de altitude (Figueira de Castelo Rodrigo) a cerca de 10 km do local de ensaio. A colocação de sensores só ocorreu em agosto, devido a constrangimentos relacionados com o fornecimento deste equipamento. Entretanto, foram solicitados dados ao IPMA que permitiram a comparação entre os valores do IPMA e dos sensores instalados, tendo-se observado algumas diferenças entre ambos (sobretudo relacionados com o posicionamento, a altura e altitude dos aparelhos de registo). Apesar disso regista-se um comportamento muito semelhante na evolução mensal destes indicadores (fig. 4).

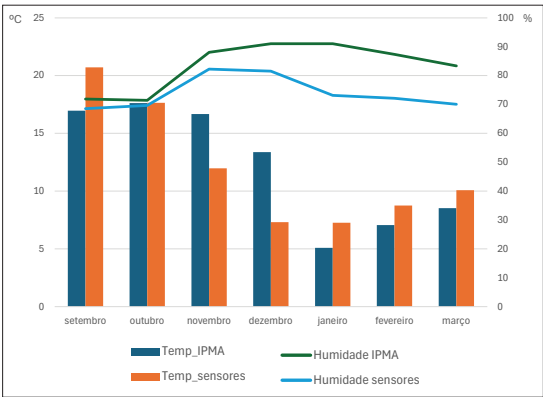


Fig. 4 - Comparação entre valores de humidade do ar e temperatura média do ar entre setembro de 2023 e março de 2024 (Fonte: IPMA e CoLAB ForestWISE®).

Fig. 4 - Comparison of air humidity and average air temperature between September 2023 and March 2024 (Source: IPMA and CoLAB ForestWISE®).

Paralelamente, verifica-se que entre 2021 e 2022, nesta região, existe um período de cerca de quatro meses em que a precipitação é praticamente nula e as temperaturas são elevadas (verão). Os maiores níveis de precipitação ocorreram durante cerca de quatro meses (outono), tendo a precipitação anual acumulada variado entre os 360 mm em 2021 e os 380 mm em 2022. Estes dados permitem avaliar as condições extremas que caracterizam a região e que condicionam o tipo de vegetação presente. No ano de 2023 observa-se uma diferença no período estival, durante o qual a temperatura média foi mais baixa, coincidente com alguma precipitação no início do período estival (fig. 5).

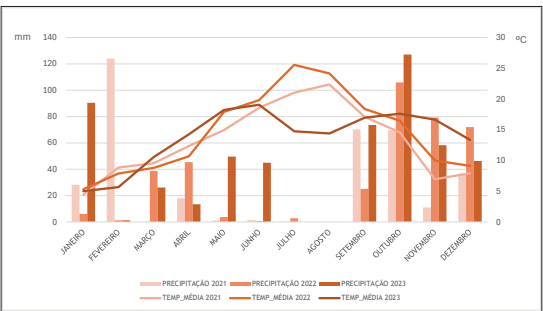


Fig. 5 - Precipitação acumulada e temperatura média do ar entre 2021 e 2023 (Fonte: IPMA).

Fig. 5 - Accumulated rainfall and average air temperature between 2021 and 2023 (Source: IPMA).

Através do inventário florístico, foram identificadas 64 espécies diferentes no conjunto dos 42 pontos amostrados. A espécie mais frequente na área de investimento é a *Cytisus multiflorus*, aparecendo com mais frequência no local Matorral. Esta é uma espécie colonizadora, em solos ácidos e pobres, preferencialmente derivados de

granitos, quartzitos, ou menos frequentemente, xistos (Flora ON). Espécies como *Senecio lividus*, *Festuca* sp., *Ranunculus ollissiponensis* e *Rumex acetosella*, apenas foram identificadas nos locais onde existe Eucalipto (EG1, EG2). O matorral foi o único local onde apareceu o *Echium plantagineum* que indica que este é um local fortemente ruderalizado e a *Erodium* sp. (*cicutarium*) foi mais frequente em matorral do que nas áreas com presença de Eucalipto. A *Quercus coccifera*, é a espécie arbórea que aparece com maior frequência, tendo sido identificada em todos os locais, mas com maior frequência na parcela de Matorral (fig. 6).

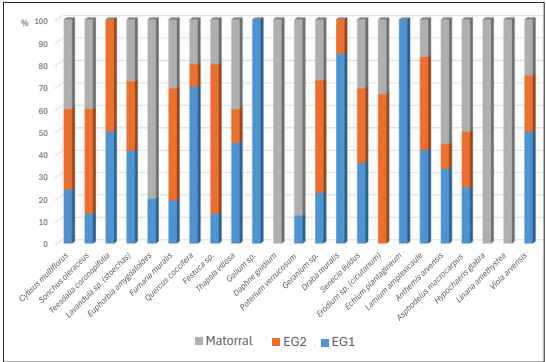


Fig. 6 - Espécies observadas no inventário florístico por parcela de amostragem (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 6 - Species observed in the flora inventory by sampling plot (Source: CoLAB ForestWISE®).

No que concerne ao inventário faunístico foram identificados 3582 insetos, tendo-se agrupado os mesmos em 13 ordens diferentes (fig. 7). A ordem com maior frequência de insetos foi a *Hymenoptera* com cerca de 39% dos insetos capturados. O local onde se observou o maior número de insetos foi o EG2 com um total de 1326 contabilizados distribuídos por 12 ordens (excetua-se a ordem *Scorpiones*). No Matorral foi ainda identificado um inseto da ordem *Archaeognatha*, conhecido como “traças saltadoras”, com máximo de 15 mm. Os *Archaeognatha* são comumente encontrados em restos de vegetação caída e fazem parte da comunidade de decompositores que reciclam os nutrientes dos organismos. A ordem *Isoptera* praticamente só se observou no local em que os eucaliptos tinham maior densidade de outras espécies arbustivas (EG2). Finalmente, salienta-se a ausência da ordem *lepidoptera* e *Milipode* da parcela EG1, assim como, a elevada percentagem de *Aracnidea* na mesma parcela (58%).

No que diz respeito ao projeto POST-FIRE FAM, sendo este um projeto que se encontra no seu início, estes resultados que se apresentam são preliminares e carecem de mais observações de modo a serem realizadas análises robustas. Todavia, já foi possível observar que nos exemplos analisados a média da severidade

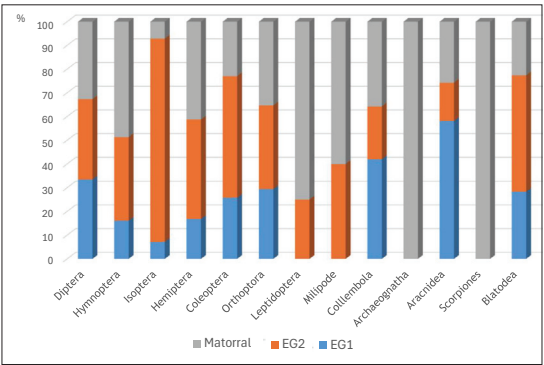


Fig. 7 - Ordens de insetos por parcela de amostragem (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 7 - Species order by sampling plot (Source: CoLAB ForestWISE®).

na vegetação (CBI_Veg) foi de 2.2 (SD=0.52), sendo classificado globalmente o incêndio com uma severidade moderada ($1.25 < CBI < 2.25$), apesar de se encontrar perto do limiar mínimo da classe de severidade elevada. No entanto, observa-se que sete parcelas (~40%) foram classificadas com severidade elevada. Relativamente aos valores de dNBR, segundo a literatura o valor médio de 372, é usualmente classificado como severidade moderada/baixa. Por outro lado, no caso do RBR, para um valor acima de 298 a severidade é classificada como moderada/elevada. Com as devidas ressalvas, e apenas considerando as 20 parcelas estudadas, a correlação linear entre os valores dados pelo CBI_Total (média dos CBIs das componentes da vegetação e do solo) e o índice espectral RBR (satélite), antevendo-se uma boa capacidade preditiva de um modelo linear que prevê a severidade dum incêndio com recurso a imagens de satélite (fig. 8).

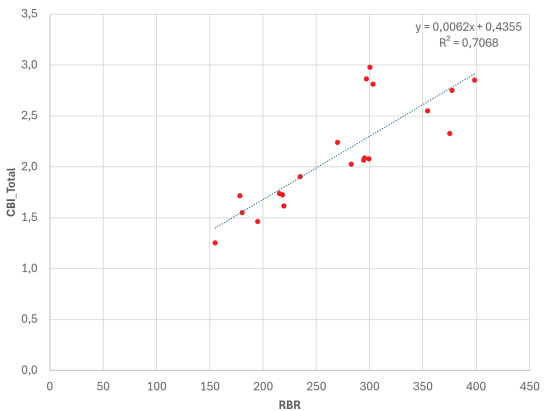


Fig. 8 - Relação entre o valor médio de CBI total calculado em cada uma das 20 parcelas de campo e a severidade obtida usando o índice espectral RBR (Fonte: CoLAB ForestWISE®).

Fig. 8 - Relationship between the average total CBI value calculated in each of the 20 field plots and the severity obtained using the RBR spectral index (Source: CoLAB ForestWISE®).

Conclusões

No caso do projeto REACT MORE foi possível constatar que ainda que estejamos perante solos pobres e com uma elevada suscetibilidade à desertificação, existem evidências de uma significativa biodiversidade adaptada ao clima da região e às condições edáficas das parcelas. Porém, seria necessário manter o acompanhamento das parcelas de monitorização, permitindo perceber a médio/longo prazo os impactos produzidos pelas operações florestais e reconversão do povoamento com espécies autóctones ao nível da fertilidade do solo e da biodiversidade.

Quanto aos métodos de captura de insetos, apesar de complementares, o método *pitfall* aparenta ser mais expedito na sua aplicação porque é facilmente repetível em cada ponto de amostragem. Paralelamente, permite capturar maior diversidade de insetos relacionados com o solo e decomposição da folhada, como é o caso dos *Collembola*, contabilizando as diferentes as ordens em que foram identificados. Com este método foram capturados insetos de doze ordens diferentes, enquanto através de *sweeping* foram contabilizadas oito (8) ordens diferentes no total de pontos de todas as parcelas. O método *pitfall* permitiu ainda identificar, na parcela Matorral, duas ordens que não foram encontradas nas parcelas com predominância de Eucalipto. Além das diferenças registadas, também se observou que este método apresenta um risco significativo da destruição de armadilhas por animais, ou pela curiosidade humana, tendo esta situação ocorrido entre 20 e 25% do total de armadilhas instaladas. Na execução do método de *sweeping*, apesar de ter permitido identificar insetos pertencentes a uma ordem (*Blatodea*) não identificada pelo outro método, podem observar-se várias condicionantes, como a influência do tipo e quantidade de insetos capturados, a hora do dia ou as condições meteorológicas. Assim, a aplicação deste método deverá atender aos diversos fatores referidos, já que pode ser condicionada pelo vento ou pela chuva que impossibilitam a aplicação desta metodologia.

Considerando que as intervenções nas parcelas, no que se refere à destruição dos cepos, plantações e sementeiras, só tiveram lugar em setembro de 2023, já não foi possível até ao fim do projeto (31 de dezembro de 2023) proceder a novas amostragens nas mesmas, inviabilizando uma conclusão sobre diferenças a curto prazo entre métodos e parcelas (testemunhas e intervencionadas), relativamente à diversidade e quantidade de insetos capturados.

No que respeita ao POST-FIRE FAM, os resultados preliminares parecem bastante promissores dado o elevado valor de correlação entre o cálculo da severidade no terreno (CBI) e o valor obtido pelo índice espectral (RBR). Importa notar que, os dados dizem apenas respeito a dois incêndios e os valores poderão alterar-se significativamente com a introdução da variabilidade

da vegetação em outros incêndios e outros graus de severidade dos incêndios. Deste modo, reforça-se a necessidade de continuar a recolher informação para aumentar a base de dados de análise da severidade, através da seleção de mais incêndios futuros com o aumento do número de parcelas a visitar no terreno. Isto permitirá realizar, por um lado, análises estatisticamente robustas com o fim de avaliar a possibilidade de estimar a severidade remotamente; e por outro lado, perceber quais as limitações e principais fatores a considerar na avaliação expedita da severidade com imagens de satélite, com implicações para a rápida implementação de medidas de restauro dos ecossistemas afetados.

Considerações finais

Os impactos que este tipo de trabalhos podem produzir, designadamente em termos de gestão florestal, podem traduzir-se a vários níveis, nomeadamente na produção de conhecimento, importante para conhecer os efeitos produzidos pelas operações florestais em projetos de florestação ou reflorestação, assim como, na avaliação da severidade do fogo. Para além das ferramentas de gestão que podem ser criadas usando estas informações de base, também será possível intervir ao nível de desenho de políticas apropriadas capazes de traduzir a realidade e as necessidades dos territórios.

O acompanhamento da regeneração dos ecossistemas afetados por incêndios rurais ao longo do tempo e a avaliação expedita da severidade do fogo usando dados de satélite, permitirá que sejam implementadas estratégias de mitigação adequadas e moldadas às necessidades do território. Paralelamente, este exercício permite maior eficiência na implementação destas estratégias uma vez que a definição e priorização de ações de mitigação de impactos na vegetação e solo (estabilização de emergência pós-fogo), permitirá uma alocação de recursos e de esforço de acordo com as prioridades definidas.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro ao projeto REACT MORE, financiado pelo COMPETE 2020 no âmbito do Aviso Convite n.º 13 REACT-EU/2021 Referência Balcão 2020 | POCI-G4-2021-26 “Apoio à Transição Climática ‘Intervenções de Resiliência dos territórios face ao risco | Combate à desertificação através da rearboreização e de ações que promovam o aumento da fixação de carbono e de nutrientes no solo”. Paralelamente, agradecem o apoio financeiro da ‘Missão Interface’, co-financiada pelo PRR - Plano de Recuperação e Resiliência (código de operação 01/C05-i02/2022.P145), no âmbito do qual se desenvolve o projeto POST-FIRE FAM. Os autores agradecem igualmente ao IPMA a partilha de dados respeitantes à estação meteorológica da aldeia de Vilar Torpim.

Referências bibliográficas

- Aguiar, C., Monteiro-Henriques, T., & Sánchez-Mata, D. (2013). New contributions on flora and vegetation of northeastern Portugal ultramafic outcrops. Lazaroa. Disponível em: <https://revistas.ucm.es/index.php/LAZA/article/download/43642/41425/66408>
- Chen, Z. (2006). Effects of fire on major forest ecosystem processes: an overview. *The journal of applied ecology*, 17 (9): 1726-1732.
- Correia, A., Oiveira, A. (1999). Principais espécies florestais com interesse para Portugal. Zonas de influência Mediterrânea. *Estudos e Informação*, n.º 318, Direcção-Geral das Florestas, Lisboa.
- Costa, J., Aguiar, C., Capelo, J., Lousã, M. e Neto, C. (1998). *Biogeografia de Portugal Continental*. Quercetea.
- Costa, M. & Silva, J. (2011). Estudos florísticos de áreas mediterrânicas em Portugal: uso da metodologia Braun-Blanquet. *Revista de Ecologia*, 12(3), 45-60.
- CMDFCI (2015). Plano Municipal de Defesa da Floresta Contra Incêndios de Arouca (2015-2019). Diagnóstico, p. 42.
- DGT (2018). Carta de Ocupação do Solo (COS2018).
- DGT (2024). Carta de Ocupação de Solo Conjuntural (COSc2024).
- Fernández-García, V., Santamarta, M., Fernández-Manso, A., Quintano, C., Marcos, E., & Calvo, L. (2018). Burn severity metrics in fire-prone pine ecosystems along a climatic gradient using Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 206, 205-217.
- Guimarães, N., Fernandes, J.P., Neves, N. (2007). Modelo de análise espacial para avaliação do carácter multifuncional do espaço. [CD-Rom] *Atas do III Congresso de Estudos Rurais*, SPER, Universidade do Algarve, Faro.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA - IPMA (2023). Atlas climático de Portugal continental 1981-2010. Lisboa: IPMA.
- INSTITUTO PORTUGUÊS DO MAR E DA ATMOSFERA - IPMA (2023). Fichas climatológicas — Normal climatológica: Figueira de Castelo Rodrigo / Vilar Torpim (1981-2010). IPMA — Divisão de Clima e Alterações Climáticas. Disponível em https://www.ipma.pt/bin/file.data/climate-normal/cn_81-10_FIGUEIRA_DE_CASTELO_RODRIGO.pdf
- Leitão, I. A., Ferreira, C., Boulet, A. e Ferreira, A. D. (2018). Do fogo à desertificação. A degradação dos ecossistemas florestais. In *O rural depois do fogo*, Orlando Simões (ed.). Edição: Escola Superior Agrária, Instituto Politécnico de Coimbra (ESAC/IPC). ISBN: 978-972-99205-8-5147, 147-154.
- Naveh, Z. (1994). The role of fire and its management in the conservation of Mediterranean ecosystems and landscapes. In Moreno, J. M., Oechel, W. C. (Eds.) *The role of fire in Mediterranean type ecosystems*, *Ecological Studies*, Springer-Verlag, Vol. 107, 163-186.
- Parks, S. A., Dillon, G. K., Miller, C. (2014). A New Metric for Quantifying Burn Severity: The Relativized Burn Ratio. *Remote Sensing*, 6, 1827-1844. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs6031827>
- Parson, A., Robichaud, P. R., Lewis, S. A., Napper, C. and Clark, J. T. (2010). *Field guide for mapping post-fire soil burn severity*. Gen. Tech. Rep. RMRS-GTR-243. Fort Collins, CO: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Rocky Mountain Research Station, 49 p.
- Pereira, H. & Santos, A. (2013). Levantamento florístico e análise de comunidades vegetais em Portugal: aplicação da metodologia Braun-Blanquet. *Boletim do Instituto de Botânica*, 22(2), 111-125.
- Roxo, M. J. (2023). *Desertificação em Portugal*. Fundação Francisco Manuel dos Santos, Edição eBook: Guidesign. ISBN 978-989-9118-95-9, 1-54, Disponível em https://books.google.pt/books?hl=pt-PT&lr=&id=JtjVEAAQBAJ&oi=fnd&pg=PT2&dq=portugal+e+a+desertifica%C3%A7%C3%A3o+dos+solos&ots=FDzSPQUEx&sig=Wtqhpm1GpWR2qVlh6gEOG8_Tpo4&redir_esc=y#v=onepage&q=portugal%20e%20a%20desertifica%C3%A7%C3%A3o%20dos%20solos&f=false
- Santín, C., Doerr, S. H. (2016). Fire effects on soils: the human dimension. *Philosophical transactions of the Royal Society of London - Series B, Biological sciences*, 37 (1696).
- Serviço Geológico de Portugal / LNEG (1990). Carta Geológica de Portugal, Folha 15-D - Figueira de Castelo Rodrigo (Esc. 1:50 000). Notícia explicativa e folha cartográfica. LNEG/IGM.
- Silva, A. F. (2005). Beirão (Complexo Xisto-Grauváquico) — caracterização litostratigráfica (Relatório / repositório LNEG). LNEG.
- Stoof, C. R., Vervoort, R. W., Iwema, J., van den Elsen, E., Ferreira, A. J. D. and Ritsema, C. J. (2012). Hydrological response of a small catchment burned by experimental fire. *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 267-285.
- TRIBUNAL DE CONTAS (2019). Relatório n.º 19/2019 - 2ª série: Auditoria ao Programa de Ação Nacional de Combate à Desertificação. Tribunal de Contas.
- Vários (2006). *Incêndios Florestais em Portugal. Caracterização, Impactes e Prevenção*. João Santos Pereira, José M. Cardoso Pereira, Francisco Castro Rego, João M. Neves Silva e Tiago Pereira da Silva (Editores). ISAPress, Lisboa.

Veloso, A., Sempiterno, C., Calouro, F., Rebelo, F., Pedra, F., Isabel, V. Castro, I. V., Gonçalves, M., Marcelo, M., Pereira, P., Fareleira, P., Jordão, P., Mano, R. e Fernandes, R. (2022). *Manual de fertilização das culturas*. Fátima Calouro (coord.), Edição Instituto Nacional de Investigação Agrária e Veterinária, I.P. - INIAV (3ª edição), ISBN: 978-972-579-063-2.

Websites

Agência Portuguesa do Ambiente, <https://rea.apambiente.pt/content/susctibilidade-%C3%A0-desertifica%C3%A7%C3%A3o>

Sistema de Gestão de Informação de Incêndios Rurais, <https://www.agif.pt/pt/sobre-o-sgifr>

Plantas vasculares de la Península Ibérica e Islas Baleares, <http://www.floraiberica.es/>

Flora-On, <https://flora-on.pt/>